BIBLIOTHEQUE DE L'ECOLE DES HAUTES ÉTUDES,
PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES DU MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE.

BULLETIN

DES

SCIENCES MATHÉMATIQUES,

RÉDIGÉ PAR MM. G. DARBOUX, É. PICARD ET J. TANNERY,

AVEC LA COLLABORATION DE

MM. BROCARD, GOURSAT, G. KŒNIGS,
LAISANT, LAMPE, MANSION, MOLK, RADAU, RAFFY, S. RINDI, SAUVAGE,
SCHOUTE, ZEUTHEN, ETC.,

Sous la direction de la Commission des Hautes Études.

PUBLICATION FONDÉE EN 1870 PAR MM. G. DARBOUX ET J. HOÜEL,
CONTINUÉE DE 1876 A 1886 PAR MM. G. DARBOUX, J. HOÜEL ET J. TANNERY
ET DE 1886 A 1900 PAR MM. G. DARBOUX ET J. TANNERY.

DEUXIÈME SÉRIE.

TOME XXXIV. — JUIN 1910.
(45e VOLUME DE LA COLLECTION.)



PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1910
(Ce Recueil paraît chaque mois.)

La Rédaction du *Bulletin*, dans l'intérêt de la régularité de la publication et d'une bonne correction des épreuves, et, plus encore, en vue d'épargner à l'imprimerie des frais considérables autant qu'inutiles de remaniements, prie instamment ses collaborateurs d'apporter toujours le plus grand soin possible dans l'exécution matérielle de leurs manuscrits, surtout en ce qui concerne les formules mathématiques et la transcription des *noms propres*. Il est à désirer que la disposition des articles soit conforme à celle qui a été adoptée une fois pour toutes dans les livraisons déjà publiées dans la 2e Série du Recueil. Par exemple, dans les articles de *Comptes rendus et Analyses des Ouvrages et Mémoires*, le titre de chaque travail analysé devra être donné dans la langue originale, avec les indications bibliographiques nécessaires. La traduction française de ce titre ne sera indispensable que pour les Ouvrages écrits dans une langue peu répandue dans l'Europe occidentale, et alors sera mise au bas de la page.

H. BOUASSE, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse. COURS DE MÉCANIQUE RATIONNELLE ET EXPÉRIMENTALE, SPÉCIALEMENT ÉCRIT POUR LES PHYSICIENS ET LES INGÉNIEURS, CONFORME AU PROGRAMME DU CERTIFICAT DE MÉCANIQUE RATIONNELLE. Un vol. grand in-8, 692 pages. Paris, librairie Ch. Delagrave, 1910. Prix, 20 fr.

I.

Léonard de Vinci a écrit quelque part : « La Mécanique est le paradis des Mathématiques ; c'est par elle, en effet, qu'on atteint le fruit mathématique. »

Réduites à elles-mêmes, les Mathématiques ne portent pas de fruit; vigoureuses et élégantes malgré leur croissante complication, les diverses branches de la Science des nombres peuvent bien produire des fleurs dont la beauté ravit ceux qui sont capables de les contempler en leur plein épanouissement ; mais ces fleurs demeurent stériles ; pour qu'en elles le fruit se noue, il faut qu'elles éprouvent le fécondant contact de l'expérience.

« Les Mathématiques, a dit très justement M. Bouasse (1), sont non pas une science comme les autres, mais l'ensemble des formes abstraites de raisonnement nécessitées par les autres. »

Une forme de raisonnement ne devient un raisonnement que si on lui fournit une matière ; l'ensemble des procédés de déduction que les Mathématiques traduisent en un langage précis ne nous fait, par lui-même, rien connaître ; il n'accroît nos connaissances que si l'on applique ces procédés de déduction à des principes venus d'ailleurs, à des propositions reconnues vraies par l'expérience ; ces propositions issues de l'expérience, d'autre part, demeureraient stériles si la déduction ne les obligeait à produire toutes les vérités dont elles sont grosses ; et la déduction n'atteint sa parfaite rigueur et sa pleine puissance que là où elle peut revêtir la forme mathématique.

Pas de science réelle et vivante, donc, si l'on n'y trouve, intimement unies entre elles, la matière fournie par l'expérience et la

(1) H. BOUASSE, *Développement historique des theories de la Physique* (*Scienza*, t. VII, 1910, p. 281).

forme imposée par les Mathématiques; pas de connaissance parfaitement organisée qui ne résulte du contact et de la compénétration de la Mathématique et de la Physique.

Or, ce contact, c'est par la Mécanique qu'il doit nécessairement s'établir.

Cette affirmation n'eût rencontré aucun contradicteur autorisé depuis le milieu du XVIIe siècle jusqu'aux dernières années du XIXe siècle; mécanistes comme Descartes et Huygens ou dynamistes comme Newton et Laplace, tous les physiciens s'accordaient en leur foi à un même dogme; pour tous il n'y avait, il ne pouvait y avoir d'autres changements dans le monde des corps que des changements de lieu dans l'espace; sous les qualités variées dont la matière se montre teinte à nos yeux, on ne trouvait que diverses figures et divers mouvements locaux; ainsi la science du changement de lieu dans l'espace, la science du mouvement local, la Mécanique, gisait au fondement même de la Physique; ou, pour mieux dire, la Physique n'était qu'une science provisoire dont la raison d'être se trouvait dans l'imperfection de nos connaissances; lorsque celles-ci seraient suffisamment avancées, la Physique disparaîtrait pour faire place à une Mécanique universelle dont Laplace annonçait le prochain avènement, à une Mécanique où des règles semblables détermineraient les trajectoires des astres dans les cieux et des derniers atomes au sein des corps.

Cette grandiose vision n'était-elle qu'un beau rêve? Beaucoup sont, aujourd'hui, tentés de le croire. Les plus grands génies ont consacré toutes les puissances de leur raison à tenter cette réduction de la Physique entière à la Mécanique; leurs efforts avaient semblé, tout d'abord, couronnés par le succès; mais, bientôt, les essais les mieux conduits d'explication mécanique ont vu se dresser devant eux des objections qu'ils étaient impuissants à renverser; d'autres essais ont été tentés par d'autres voies; d'autres obstacles leur ont barré le passage; les théories mécaniques ont eu beau accroître sans cesse leur puissance et leur souplesse, fût-ce au prix d'une complication toujours grandissante, elles n'ont abouti qu'à mieux reconnaître à quel point la difficulté du problème à résoudre surpassait la force de pénétration des solutions proposées. Il s'est trouvé alors des gens (et nous en sommes) pour douter que le problème fût vraiment susceptible de solution. L'af-

firmation que tout, dans le monde des corps, se peut réduire à la figure et au mouvement est purement gratuite; on ne voit vraiment pas quelle absurdité viendrait infliger un démenti à celui qui la voudrait rejeter. Pendant longtemps, certains ont pu se demander si cette affirmation n'était pas la condition qui, seule, permet d'appliquer les Mathématiques à la Physique, si la construction d'une Physique mathématique ne deviendrait pas impossible à qui ne croirait pas que la Physique se réduit à la Mécanique; nul ne peut aujourd'hui se laisser arrêter par ce doute ni méconnaître que l'on peut construire une Physique mathématique où l'on traite de certains changements sans les réduire au mouvement local. Pourquoi s'acharnerait-on, dès lors, à poursuivre cette réduction d'une désespérante difficulté, dont aucune promesse autorisée ne nous affirme qu'elle soit possible? La place est si bien gardée, qu'elle a défié, jusqu'ici, les plus violents assauts; savons-nous si elle n'est pas vraiment imprenable? Ne nous attardons donc pas davantage à en tenir le siège; la campagne est libre; lançons-y à marches forcées notre armée d'invasion.

Ceux qui raisonnent ainsi ne regardent plus la Mécanique comme la science idéale en laquelle la Physique tout entière viendra se résoudre au jour où la Physique atteindra sa perfection. Outre la Mécanique, science du seul mouvement local, ils conçoivent une Physique proprement dite, science plus complexe que la Mécanique, où l'on traite non seulement du mouvement local, mais encore d'autres transformations qui ne se réduisent pas au changement de lieu. Pour eux, la Physique, prise en son entière généralité, devient la théorie mathématique des modifications de toute espèce dont les corps sont susceptibles, et la Mécanique n'est plus qu'un chapitre particulier de cette Énergétique.

Ce chapitre particulier n'en demeure pas moins l'introduction nécessaire à la Physique; c'est par là que la Mathématique doit passer pour venir au contact des données de l'observation; il est la porte du paradis mathématique, de ce paradis où la main de l'homme pourra cueillir le fruit de la science physique. Et si la Mécanique est l'introduction de la Physique, elle le doit à cela seul qu'elle est le Chapitre le plus simple de la Physique et que notre esprit, lorsqu'il veut mettre de l'ordre et de la clarté dans une science, doit procéder du simple au composé.

Il n'existe, à proprement parler, dans le monde des corps, aucun phénomène où le mouvement local se trouve dissocié des autres transformations, des variations de la température, des changements d'état physique ou chimique, des modifications électriques ou magnétiques. Jamais, peut-on dire, nous n'observons quelqu'une de ces transformations qu'un certain mouvement local ne l'accompagne. Par suite de la vaporisation de l'eau et de la condensation de la vapeur, les locomotives entraînent les trains rapides et les navires traversent les océans. Les réactions chimiques explosives lancent les projectiles et font reculer les canons; elles font rouler les voitures automobiles et voler les aéroplanes. Les courants électriques, les aimantations et les désaimantations qu'ils produisent font tourner les machines dynamo-électriques avec une prodigieuse vitesse.

Nulle part, non plus, nous n'observons le mouvement local pur de tout autre changement physique ou chimique. Les astres du système solaire ne sont pas simplement des solides géométriques qui se promènent dans l'espace ; ce sont des corps physiques qui s'échauffent ou se refroidissent, qui se dilatent ou se contractent, où l'eau des mers s'évapore, où les nuages se condensent en pluie, où se produisent des réactions chimiques, des perturbations électriques et magnétiques de toute sorte. Lorsque le son se propage dans l'air, la vibration de chaque partie du fluide s'accompagne de condensations et de dilatations, d'élévations et d'abaissements de la température.

Point donc de problème énoncé par l'observation d'où l'étude du mouvement local soit entièrement exclue ; mais point de problème, non plus, qui relève de la seule étude du mouvement local; toute question de Physique sera mécanique par quelque côté; mais aucune question, semble-t-il, ne pourra être regardée comme exclusivement mécanique, en sorte qu'on pourrait croire que la Mécanique pure est impossible.

Si le mouvement local ne se produit jamais sans que quelque changement physique ne l'accompagne, il est cependant des cas où ce mouvement local est seul à nous intéresser. Il est une foule de questions dont la réponse requiert seulement que nous sachions comment se déplacent les astres du système solaire, et non point que nous puissions décrire les phénomènes physiques et chimiques

dont chacun d'eux est le siège; pour résoudre ces questions, notre entendement pourra, au système solaire réel, substituer un système solaire fictif que formeront des corps solides, de figure invariable, incapables d'éprouver d'autres changements que des déplacements. Il est des cas où les variations de densité et de température d'un système vibrant ont une influence tout à fait négligeable sur les oscillations que nous nous proposons d'analyser; nous pourrons alors remplacer l'instrument où ces effets se produisent par un instrument idéal que n'affectera plus aucun changement de de densité ni de température. Ainsi peut-on construire des théories purement mécaniques, une Mécanique céleste, une Mécanique des mouvements vibratoires; les problèmes auxquels ces théories s'appliquent ont été extraits par voie de simplification des problèmes que l'observation conduit à énoncer; la solution de ces problèmes ne laisse pas de présenter, en bien des cas, une très grande et très directe utilité.

Par des simplifications toutes semblables, on pourra, de problèmes réels où le mouvement local est invariablement lié à quelque changement d'état ou de qualité, tirer des problèmes idéaux où ces derniers changements seront seuls étudiés, purs de tout mélange avec des déplacements.

Ainsi, lorsqu'un morceau de fer ou de cuivre s'échauffe ou se refroidit, des dilatations ou des contractions changent la position que chacune des parties du métal occupe dans l'espace; la variation qualitative de la température entraîne des mouvements locaux. En bien des cas, cependant, les changements que, d'un instant à l'autre, la température éprouve en chaque masse élémentaire présenteront pour nous un grand intérêt, tandis que nous nous soucierons fort peu des très petits déplacements de cette masse. Au morceau de cuivre contractible et dilatable sur lequel porte l'observation, nous pourrons alors substituer par la pensée un solide rigoureusement indéformable et immobile; à l'imitation de Fourier, nous construirons une théorie de la conductibilité de la chaleur qui sera pure de tout lien avec la Mécanique.

Ces problèmes artificiellement simplifiés, problèmes de Mécanique pure ou problèmes de Physique pure, ont donc pour nous, dans un grand nombre de cas, un intérêt immédiat; non pas qu'en les résolvant nous répondions à toutes les questions qui se

posent à propos du problème réel, toujours infiniment complexe, mais parce qu'en les résolvant nous répondons à celles de ces questions qui nous paraissent les plus importantes.

Ces problèmes de Mécanique pure ou de Physique pure ont encore une utilité d'un autre genre, médiate celle-là, mais qui, pour plusieurs d'entre eux, surpasse de beaucoup leur utilité immédiate.

Parce qu'ils ont été rendus très simples, ils ont pu être abordés de bonne heure, et l'analyse qui en a été faite a pu être suivie très loin. Lorsque, plus tard, l'esprit humain s'est trouvé aux prises avec des problèmes beaucoup plus complexes, où l'on ne pouvait négliger ni les changements physiques devant les mouvements locaux, ni les mouvements locaux devant les changements physiques, il a profité, pour en tenter la solution, de l'expérience acquise en des circonstances moins compliquées; il s'est laissé guider par les méthodes qui avaient permis de répondre aux questions simples; ces méthodes, il s'est efforcé de les généraliser, de les combiner entre elles ou de créer des procédés nouveaux qui leur fussent analogues; c'est à ce travail d'imitation qu'il a eu perpétuellement recours pour construire les théories de la Physique.

La théorie purement mécanique des mouvements vibratoires, dont l'Acoustique est le prolongement immédiat, n'a pas cessé, depuis le temps d'Huygens et de Malebranche, d'être la source d'analogies où tous les physiciens ont puisé pour concevoir et développer les théories de l'Optique. C'est à l'imitation de la Mécanique céleste que se sont organisées, d'abord, les théories des forces électrostatiques, magnétiques, électrodynamiques, électromagnétiques; ces théories se sont complétées en s'unissant à l'étude de la propagation de l'électricité au sein des conducteurs; mais cette étude avait été calquée par Ohm sur celle que Fourier avait faite de la propagation de la chaleur; et Fourier, à son tour, devait beaucoup à l'Hydrodynamique d'Euler; par son développement même, d'ailleurs, cette doctrine de l'électricité est allée rejoindre l'Optique, conformant dès lors certaines de ses parties à la Mécanique des mouvements vibratoires.

La Mécanique sert donc de deux manières :

Elle sert d'une manière directe au physicien et à l'ingénieur en donnant réponse à des questions où le mouvement local joue

un rôle à ce point prépondérant que les autres transformations y peuvent être négligées.

Elle est utile d'une manière indirecte au physicien parce qu'elle lui fournit l'ensemble des types idéaux qui lui serviront, par voie d'analogie, de généralisation, de combinaison, à imaginer ses propres théories.

Le but de la Mécanique ayant été défini avec précision, il n'est pas malaisé d'indiquer les règles principales qui doivent diriger l'enseignement de cette science; il est clair, en effet, qu'une doctrine sera bien ou mal enseignée selon que celui qui l'expose tendra sans cesse vers ce qui est l'objet propre de cette doctrine ou qu'il perdra habituellement de vue cet objet.

Le professeur de Mécanique devra donc consacrer tous ses efforts à la solution de deux sortes de problèmes : des problèmes qui sont directement utiles parce qu'on y analyse des mouvements locaux qui jouent un rôle important dans les machines industrielles ou dans les appareils de Physique; des problèmes qui sont indirectement utiles, parce qu'ils sont les modèles qu'imitent les grandes théories de la Physique. Selon que son intention, d'ailleurs, sera de former des ingénieurs ou de préparer des physiciens, il devra, en ses leçons, attribuer la place prépondérante soit à l'une, soit à l'autre catégorie de problèmes.

II.

Ces règles sont-elles celles que suit, dans les Universités françaises, l'enseignement de la Mécanique?

L'esprit même de cet enseignement paraît avoir été très anciennement faussé par une fâcheuse classification des sciences.

Les règlements qui, pendant quatre-vingts ans, ont régi la licence ès sciences, ceux qui sont encore en vigueur pour l'agrégation et le doctorat ont établi une ligne de démarcation entre les Sciences mathématiques et les Sciences physiques.

En dépit de ce qu'une telle démarcation a toujours d'artificiel, partant de faux par quelque endroit, il était, semble-t-il, deux manières sensées de tracer cette frontière.

On pouvait réunir sous le nom de Sciences mathématiques non seulement celles qui étudient et perfectionnent l'instrument

mathématique, mais aussi toutes celles qui usent de cet instrument pour coordonner en théories les lois issues de l'expérience; la Physique eût alors pris place parmi les Sciences mathématiques, auprès de la Mécanique et de l'Astronomie, puisque la construction de théories mathématiques où se rangent les lois du son, de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et du magnétisme est son objet propre. Au delà de la frontière qui borne les Sciences mathématiques se fussent trouvées les Sciences de la nature, dont la fonction essentielle n'est plus de coordonner, à l'aide de la déduction mathématique, une foule de propositions en théories, mais bien, par la comparaison révélatrice des analogies, de classer une foule d'êtres en familles naturelles; et la Chimie se fût alors très logiquement placée au voisinage de la Botanique et de la Zoologie. Cette façon de partager le domaine des Sciences, moins par leurs objets que par les facultés intellectuelles auxquelles elles font le plus fréquent appel, est celle qui a été adoptée en la constitution de l'Académie des Sciences, où la Section de Physique générale appartient aux Sciences mathématiques.

On pouvait définir autrement les Sciences mathématiques; on pouvait réserver ce nom aux doctrines purement abstraites des nombres et des figures; elles ne demandent à l'expérience que des renseignements que tout homme possède, que l'usage quotidien, courant, nullement scientifique des sens suffit à lui fournir. Hors de ce domaine restreint des Sciences purement mathématiques, se fût étendue l'immense contrée des sciences qui se constituent à l'aide d'expériences plus raffinées et plus compliquées que la perception vulgaire, qui accroissent à l'aide d'instruments la puissance et la précision de nos sens; parmi ces Sciences expérimentales, on eût trouvé l'Astronomie et la Mécanique en même temps que la Physique. C'est cette division qui est, je crois, adoptée par les Universités allemandes; c'est grâce à elle que les *Vorlesungen über die mathematische Physik* de Kirchhoff débutent par un Volume consacré à la Mécanique.

La distinction entre les Sciences mathématiques et les Sciences physiques ne se fit, dans les Facultés des Sciences, ni par l'un ni par l'autre de ces deux procédés; la Mécanique et l'Astronomie furent mises au nombre des Sciences mathématiques, tandis que la Physique se trouvait indissolublement liée à la Chimie.

Simple mesure administrative, pensera-t on, d'objet tout pratique; règlement d'examen qui n'avait point l'intention d'influer sur l'organisatiation même de la Science. Mais dans un pays comme le nôtre, si méticuleusement administré, si étroitement réglementé, qui pourrait limiter la portée d'une mesure de ce genre? La façon qu'ont des hommes de comprendre et d'accomplir une besogne qui leur est confiée dépend de la tournure de leur esprit; cette tournure d'esprit résulte de l'éducation qu'ils ont reçue, des enseignements qu'ils ont entendus; cette éducation, ces enseignements étaient étroitement définis par la nature du diplôme que ces hommes ont dû obtenir, par le programme de l'examen qu'ils ont dû subir; et ainsi un règlement d'examen, selon qu'il est judicieux ou peu sensé, peut avoir les conséquences, heureuses ou malheureuses, les plus graves et les plus éloignées.

Suivons les conséquences de la coupure qui fut pratiquée entre la Mécanique et la Physique.

III.

Les savants auxquels fut confié, dans les Facultés, l'enseignement de la Mécanique étaient, pour la plupart, munis de l'agrégation de Mathématiques; toujours et nécessairement, ils avaient pris le doctorat ès sciences mathématiques; c'étaient donc des hommes qui, dès leur jeunesse, s'étaient montrés particulièrement doués pour la contemplation et l'analyse des idées abstraites; qui, par une longue et laborieuse éducation, avaient exalté en leur raison la faculté de combiner les constructions de la Géométrie et les algorithmes de l'Algèbre.

Au moment de professer la Mécanique, ils ont cherché à revêtir cette science de la forme qui leur semblait la plus parfaite, à la rendre donc aussi semblable que possible aux doctrines qu'ils avaient appris dès longtemps à regarder comme absolument belles, à la Géométrie et à l'Algèbre.

Imitant ce que le géomètre avait fait depuis des millénaires, ils ont voulu ne faire à l'expérience que des emprunts aussi peu nombreux que possible, et ils ont voulu que ces emprunts fussent faits aux observations les plus courantes et les plus obvies; ils ont pris ainsi, pour fondements de la doctrine qu'ils allaient

exposer, un ensemble, aussi restreint qu'il se pût faire, de postulats sur les masses et les mouvements ; puis, sur ces fondements, tout semblables d'aspect aux axiomes de la Géométrie, ils ont, par la déduction mathématique, élevé un monument vaste et régulier. Pour mieux marquer que l'expérience n'avait pris, à l'érection de ce monument, qu'une part infime, que la raison raisonnante pouvait se vanter de l'avoir presque en entier construit par ses propres forces, on a donné à ce bel édifice mathématique le nom de Mécanique *rationnelle*. Le jour où, à côté de la chaire de Mécanique rationnelle, la Sorbonne créa une chaire de Mécanique physique et expérimentale, elle affirma, semble-t-il, avec une particulière netteté, que l'essence de la Mécanique rationnelle était de n'être d'aucune manière ni physique ni expérimentale.

Traitée par des hommes qu'avait formés la plus pure éducation mathématique, par des hommes qui n'eussent su rien écrire qui ne fût très rigoureux, très clair, très ordonné, très élégant, la Mécanique rationnelle a produit des chefs-d'œuvre; parmi les Livres et les Mémoires qui lui sont consacrés, abondent les écrits admirables. Mais ce qu'on admire, en ces œuvres, c'est l'art de combiner les constructions géométriques et les symboles algébriques. Cet art qui, en Mécanique, ne devait être qu'un moyen, qui devait servir à résoudre des problèmes utiles à l'ingénieur, à construire des théories propres à guider le physicien, cet art s'est posé comme une fin qui eût en elle-même sa propre valeur. Les lignes géométriques ne se sont plus enchevêtrées, les équations différentielles ne se sont plus intégrées afin que le mécanicien sût répondre à une question formulée par l'expérience; c'est le problème qui a été artificieusement choisi afin que le géomètre nous pût montrer la pénétrante clarté de son intuition et l'algébriste sa dextérité à manier le Calcul intégral. Séparée par une frontière malencontreuse de la Physique qui pouvait seule lui poser des questions utiles et des problèmes féconds, rendue stérile par le décret qui l'a rattachée au domaine des Mathématiques pures, la Mécanique rationnelle n'est plus qu'une sorte de terrain de manœuvre où s'exécutent d'habiles exercices d'Analyse et de Géométrie.

Exercices d'Analyse et de Géométrie, tel est bien le titre qu'il conviendrait de donner aux épreuves subies, sous le nom

d'examens de Mécanique, par les étudiants de nos Facultés. « Le mathématicien de métier, écrit M. H. Bouasse [1], ne s'occupe guère de l'application, et les cas particuliers lui répugnent. Malgré ses efforts, un problème de Mécanique devient vite entre ses mains un sujet de spéculations mathématiques. J'admire que les candidats à l'Agrégation de Mathématiques résolvent les merveilleux rébus offerts à leur sagacité. Généralement un gyroscope se promène sur un hyperboloïde, qui glisse sur un tore, lequel est astreint à rouler et à pirouetter sur un hélicoïde; ... l'énoncé remplit une page de papier ministre. Ces jeunes gens résolvent le problème en 7 heures, comme qui plaisante. Je n'ignore cependant pas qu'en les plaçant devant une machine d'Atwood, on les embarrasserait fort. »

IV.

Nous avons vu ce qu'a fait de la Mécanique l'opération qui l'a détachée de la Physique pour la souder aux Mathématiques abstraites. Voyons ce que cette même opération devait faire de la Physique.

La forme que la Physique allait revêtir était, pour ainsi dire, déterminée d'avance par l'étroite parenté qui était assignée à cette science avec la Chimie, c'est-à-dire avec une science naturelle, la plus simple et la plus avancée des Sciences naturelles.

C'est parmi les mêmes hommes qu'allaient se recruter les futurs professeurs de Physique et de Chimie ; non point donc parmi ceux qui se complaisent aux idées très abstraites et aux raisonnements très rigoureux, mais bien parmi ceux chez qui la finesse d'observation est très aiguisée, voire parmi ceux qui sont doués d'une extrême dextérité manuelle, précieuse à l'expérimentateur; futurs physiciens ou futurs chimistes, ils allaient entendre les mêmes enseignements, s'exercer aux mêmes manipulations, être éprouvés par les mêmes examens; et ce que ces exercices s'attacheraient à développer en eux, ce que ces examens auraient pour objet d'y reconnaître, ce seraient surtout les facultés communes au physicien et au chimiste, l'habileté en l'art expérimental.

De même, alors, que le mécanicien, formé par une discipline

[1] H. Bouasse, *Cours de Mécanique rationnelle et expérimentale*, p. 1.

presque exclusivement mathématique, en était venu à regarder la Géométrie et l'Algèbre non point comme des instruments propres à résoudre les questions proprement mécaniques, mais comme les objets mêmes auxquels doit tendre l'étude de la Mécanique, de même le physicien se prit à regarder l'observation et l'expérience non pas comme les ouvrières qui doivent poser les fondations de la Physique, mais comme les architectes qui doivent tracer le plan du monument tout entier.

La Physique, comme la Mécanique, devait résulter de l'intime union d'une forme définie par les Mathématiques avec une matière fournie par l'observation et l'expérience. Les mécaniciens s'étaient appliqués à faire abstraction aussi complète que possible de ce contenu, donné par l'expérience, et ils avaient obtenu cette forme, à peu près vide de toute matière, qu'ils avaient appelée Mécanique rationnelle. Les physiciens, de leur côté, réduisirent autant qu'ils purent le faire le rôle que la forme mathématique était appelée à jouer dans leur science; leur idéal, de plus en plus ardemment et explicitement souhaité, fut de ne rien considérer sinon les lois que l'induction tire de l'observation; la matière presque informe constituée par l'ensemble de ces lois leur apparut comme la plus parfaite des Physiques, la Physique purement expérimentale.

Ainsi la simple mesure administrative qui a tracé une ligne de démarcation entre la Mécanique et la Physique, qui a mis la Mécanique au nombre des sciences mathématiques et qui a rejeté la Physique au voisinage de la Chimie, a produit deux sciences également incomplètes, bien qu'elles le soient par deux privations inverses l'une de l'autre; elle a engendré ces deux monstres complémentaires : la Mécanique rationnelle dégagée de toute Mécanique physique et expérimentale, et la Physique purement expérimentale soigneusement séparée de toute Physique mathématique.

La Mécanique est, par sa nature même, la partie la plus abstraite et la plus simplifiée de la Physique; pour se constituer donc, la Mécanique rationnelle n'a eu besoin que de pousser à l'excès une abstraction et une simplification qui eussent été légitimes si elles fussent demeurées en deçà de certaines bornes.

Il n'en va pas de même de la Physique expérimentale. Le lan-

gage de l'Algèbre et de la Géométrie est si complètement indispensable à qui prétend énoncer avec clarté et précision les lois physiques issues de l'observation, ces lois tendent si naturellement à se grouper et à s'ordonner en théories mathématiques, que la constitution d'une Physique purement expérimentale semble être une irréalisable gageure; sans cesse la Physique mathématique reparaît en la science au moment même qu'on l'en croit chassée. Ceux donc qui voudraient arracher à la Physique le dernier lambeau de son vêtement d'Algèbre et de Géométrie se voient condamnés au supplice d'un perpétuel recommencement.

Ils ne se découragent pas, cependant; par un travail incessant, ils creusent de plus en plus le fossé que les règlements d'examens ont tracé entre la Physique et les Sciences mathématiques; ils comptent bien qu'ils formeront ainsi des esprits tournés d'une manière invariable vers la science purement expérimentale à laquelle ils tendent. Autrefois, le candidat à l'agrégation de Physique devait être licencié ès sciences mathématiques; lorsque les antiques licences se trouvèrent morcelées en certificats multiples, on continua d'exiger du futur agrégé de Physique qu'il eût pris le certificat de Mécanique rationnelle; aujourd'hui, on a détendu la rigueur de cette exigence; il est, pour celui qui sera appelé à enseigner la Physique dans nos lycées, des moyens de se dispenser du certificat de Mécanique rationnelle; il est, à l'agrégation, des voies d'accès ouvertes à qui n'a point étudié la Mécanique et n'a, des Sciences mathématiques, qu'une connaissance rudimentaire; on peut aspirer à enseigner la Physique, voire dans les chaires les plus élevées, sans avoir une autre formation mathématique que celle dont a besoin le zoologiste ou le botaniste.

On espère qu'on arrivera, de la sorte, à former des physiciens dont l'intelligence sera construite exactement sur le même type que celle du naturaliste; intelligence très habile à observer les moindres détails des réalités concrètes, à comparer entre elles ces réalités, à saisir les analogies qui classeront les êtres en un ordre naturel; mais intelligence hésitante au sein des idées abstraites, trop faible pour enchaîner avec rigueur les mailles d'un raisonnement déductif, gauche dans le maniement de l'instrument mathématique.

Cela suffira-t-il à faire des adeptes convaincus de la Physique purement expérimentale? Pas encore, peut-être.

Lorsqu'il veut mettre en évidence les homologies essentielles qui lui permettent de rassembler en un même groupe des êtres fort dissemblables en apparence, le naturaliste trace une figure abstraite et généralisée, un *schéma*, et il montre comment ce schéma est le plan commun sur lequel tous ces êtres sont construits. Doué de l'esprit de comparaison et du sens des analogies, le physicien voudra, à la façon du naturaliste, rapprocher les unes des autres les lois expérimentales qui sont construites sur un même plan; il voudra, de ces lois, tracer, lui aussi, un schéma; ce jour-là, il reconnaîtra bien vite que ces relations entre grandeurs mesurées, que ces formules ne se laissent pas schématiser par un dessin; que le modèle abstrait et général en lequel on les peut toutes condenser, c'est forcément un ensemble de postulats énoncés en langage mathématique; que, pour les comparer à ce modèle, il ne suffit pas de faire appel au sens de l'analogie, mais qu'il faut recourir au raisonnement déductif; désireux d'imiter le zoologiste ou le botaniste, de construire une classification naturelle, il produira comme malgré lui une théorie mathématique. Cette théorie, d'ailleurs, sera probablement gauche et mal bâtie; inhabile à manier l'instrument géométrique et algébrique qui peut seul construire l'édifice, ignorant de la Mécanique où il eût trouvé des exemples à imiter, notre expérimentateur fera de mauvaise Physique mathématique, mais il fera de la Physique mathématique; jamais, assurément, on n'avait vu surgir autant de théories qu'il en a germé depuis qu'on s'est avisé de rendre la Physique purement expérimentale.

En donnant au physicien une intelligence semblable à celle du naturaliste, on le rendra incapable de construire des théories mathématiques solides, complètes, élégantes; on ne l'empêchera pas de bâtir des théories mathématiques. Il faudra donc aller plus loin; il faudra lui ôter jusqu'à ce goût des comparaisons, jusqu'à ce sens des analogies, par lesquels vivent et se développent la Chimie, la Botanique, la Zoologie. Pour assurer le triomphe de la Physique purement expérimentale, on ne reculera pas devant une pareille tentative; ce qu'on mettra au rang de faculté maîtresse du physicien, ce qu'on développera en lui aux dépens de toutes les

capacités intellectuelles, ce sera l'habileté manuelle. On proclamera donc que les instruments propres à édifier la Physique, ce ne sont point l'Algèbre et la Géométrie, non point même le spectroscope et le thermomètre, mais la lime et le tour; on déclarera que, pour bien se servir d'un galvanomètre, il faut l'avoir construit (comme si les cordonniers étaient les meilleurs marcheurs); on donnera au futur physicien non pas la raison d'un homme de science, mais la dextérité d'un ouvrier d'art; alors pense-t-on, les théories mathématiques seront à jamais chassées de la Physique devenue purement expérimentale. A jamais? Jusqu'au jour où le constructeur d'instruments, las de l'empirisme grossier auquel on aura prétendu le condamner, renversera les barrières qu'on avait voulu élever entre la Physique et les Sciences mathématiques et réinventera la Physique théorique.

V.

En effet, ces efforts acharnés pour constituer une Physique purement expérimentale, ces tentatives sans cesse reprises au sein de l'Université de France, le plus piteux avortement les attend, parce que ces efforts, parce que ces tentatives prétendent s'opposer au mouvement qui porte la Science.

Si l'on eût dit à Poisson, à Ampère ou à Cauchy, si l'on eût dit à Green, à Franz Neumann ou à Gauss qu'on pouvait, qu'on devait construire la Physique en évitant l'emploi de toute doctrine mathématique de quelque difficulté, que le physicien devait s'éloigner de toute théorie fondée sur la Mécanique ou imitée de cette science, ces hommes de génie eussent assurément pris pour fou celui qui leur eût tenu ce langage. Que penseraient-ils donc de ceux qui le répètent aujourd'hui?

Les progrès extraordinaires que la Physique a faits au cours du XIX[e] siècle se sont tous accomplis dans le sens qu'avaient marqué les travaux des grands géomètres et mécaniciens du commencement de ce siècle. La Science électrique, par exemple, n'a cessé de manifester, par son développement, la fécondité des théories formulées par Poisson et par Ampère; c'est en imitant les méthodes suivies par Ampère que Franz Neumann et Wilhelm Weber ont pu constituer la doctrine des courants d'induction, et

lorsque Maxwell et Helmholtz ont étendu cette doctrine au point qu'elle pût régir la propagation de l'électricité au sein des milieux diélectriques ou conducteurs, les équations obtenues se sont trouvées identiques à celles que les Navier, les Poisson, les Cauchy, les Green avaient écrites pour étudier le mouvement des solides élastiques ou des fluides visqueux; c'est cette analogie d'équations qui a permis à Maxwell de formuler sa grandiose hypothèse sur la nature électromagnétique de la lumière; c'est cette analogie qui a suggéré à Heinrich Hertz l'idée d'étudier la propagation des ondes électriques comme on étudie celle des ondes sonores. La science électrique n'est ainsi qu'un vaste et admirable exemple de ce principe : Tout progrès s'accomplit en Physique par l'effet de la Mécanique ou à l'imitation de la Mécanique.

Une école de physiciens rejetterait la seconde partie de ce principe ou ne consentirait à en user que d'une manière provisoire; purement mécanistes, ces physiciens entendent que tous les phénomènes de la Physique se réduisent un jour à la figure et au mouvement. Au moment où la théorie mécanique de la chaleur fut créée, ces physiciens avaient cherché à expliquer selon leurs principes les effets que les variations de température et de pression produisent en une masse gazeuse; depuis quelques années, le champ ouvert à leurs recherches s'est singulièrement étendu; non seulement ils ont abordé l'étude des dissolutions et des mélanges liquides, mais ils ont entrepris de rendre compte des phénomènes compliqués que l'électricité engendre au sein des gaz. Ceux-là n'ont garde de dédaigner la Mécanique; Boltzmann et Gibbs leur ont montré quelle Dynamique savante et délicate il convenait d'employer pour résoudre même les problèmes les plus simples de Mécanique statistique; et les tentatives de Weber, de Riemann et de Clausius sont là pour le dire quelles difficultés les attendent au moment où ils voudront traiter avec précision de la convection électrique.

A côté de l'École mécaniste s'ouvre l'École énergétiste; l'idéal des adeptes de cette École n'est plus de réduire toute la Physique à la Mécanique; il est de réunir toutes les branches particulières de la Physique, y compris la Mécanique, en un tronc unique; et cette doctrine énergétique, appelée à donner ses lois à la Physique

tout entière, ils l'imaginent comme une extension, comme une généralisation de la Mécanique; pas plus que les mécanistes assurément, les énergétistes ne sauraient faire fi de cette Mécanique qu'ils veulent agrandir jusqu'à ce qu'ils y puissent loger la science de tous les changements qui se passent dans le monde des corps bruts.

L'œuvre la plus importante qu'ait accomplie l'École énergétiste, c'est, sans doute, la construction d'une doctrine mathématique, imitée de la Mécanique, où se classent les lois qui président à l'accomplissement des réactions chimiques. Bien loin donc, au gré des énergétistes, que le physicien se puisse contenter du sens de l'observation et de la comparaison qu'emploient le chimiste et le naturaliste, il faut désormais que le chimiste s'exerce au maniement de l'instrument mathématique, qu'il acquière des connaissances de Mécanique, afin qu'il puisse tirer profit des enseignements de la Mécanique chimique.

L'étude des progrès que la Physique n'a cessé de faire depuis cent vingt ans met ainsi hors de doute cette vérité : Il n'y a aucune ligne de démarcation entre la Mécanique et la Physique; ces deux sciences n'en font qu'une, et cette théorie unique de tous les mouvements, de tous les changements du monde inorganique, vit et se développe par l'union intime de la matière expérimentale et de la forme mathématique. Pendant ce temps, l'Université de France s'attarde à enseigner une Mécanique rationnelle dégagée de l'expérience; elle s'épuise en vains efforts pour constituer une Physique purement expérimentale débarrassée de l'appareil mathématique.

VI.

Que le lecteur médite maintenant le titre mis par M. H. Bouasse en tête de l'Ouvrage qu'il vient de publier : *Cours de Mécanique rationnelle et expérimentale, spécialement écrit pour les physiciens et les ingénieurs, conforme au programme du certificat de Mécanique rationnelle*. Il apercevra tout aussitôt la profondeur de la révolution qu'annonce un semblable titre; mais il découvrira en même temps la fécondité de la réforme qui nous est ici promise.

Le Livre tient-il toutes les promesses que le titre fait briller à nos yeux? C'est ce que nous allons examiner.

M. Bouasse nous annonce que la Mécanique dont il va développer l'exposé est, à la fois, rationnelle et expérimentale. Qu'est-ce à dire? La Mécanique sera rationnelle si elle pose comme hypothèses un petit nombre de prémisses non démontrées et si elle en tire, par voie de déduction mathématique, toutes les conclusions qu'elle énoncera par la suite. La Mécanique sera expérimentale si elle n'attribue à ses hypothèses premières aucune évidence immédiate, aucune certitude affirmée par une science antérieure, certitude que le raisonnement déductif transporterait graduellement jusqu'aux ultimes corollaires; si elle regarde ces corollaires comme n'étant, par eux-mêmes et *a priori*, ni vrais ni faux; si elle les tient seulement pour des propositions destinées à fournir une représentation abstraite, simplifiée, approchée des lois expérimentales du mouvement; si donc elle déclare un ensemble de telles conséquences bon ou mauvais selon qu'il figure bien ou mal, avec une approximation suffisante ou avec d'intolérables inexactitudes, l'ensemble des vérités d'observation dont il doit être l'image. A la fois rationnelle et expérimentale, construite selon la méthode qui sert à bâtir toute théorie physique, la Mécanique aura vraiment alors pris la place qu'elle doit occuper en l'édifice de la Physique mathématique.

C'est bien ainsi que M. Bouasse entend développer la Mécanique. Lisons, par exemple, ces quelques lignes, écrites [1] tout aussitôt après les énoncés des trois principes de la Dynamique :

« *Toute démonstration* a priori *de ces propositions est un non-sens*. Nous devons les développer par voie déductive et comparer leurs conséquences avec les faits. La Dynamique n'est donc plus qu'une question de calculs, qu'un recueil d'exemples fondés sur des hypothèses particulières. La comparaison de la théorie et des phénomènes se fait par les méthodes ordinaires de la Physique expérimentale. ».

Le mathématicien, donc, qui prétend exposer une Mécanique purement rationnelle et M. Bouasse pourront bien, à l'aide de calculs identiques, tirer des principes de la Dynamique la solution

---

[1] H. Bouasse, *Op. laud.*, p. 285.

d'un même problème ; devant la formule finale qu'ils auront tous deux obtenue, leur attitude sera toute différente. Le mathématicien croit qu'il use d'une méthode analogue à celle du géomètre ; il pense que les principes auxquels il a rivé la première maille de sa déduction ont la certitude d'axiomes ; pourvu que son raisonnement soit d'une impeccable rigueur, il affirmera que la proposition obtenue est VRAIE. M. Bouasse attendra, pour juger cette proposition, qu'elle ait été soumise au contrôle de l'expérience ; et lorsqu'elle aura subi l'épreuve avec succès, il la déclarera non pas vraie, mais UTILE. Au moment donc que le mathématicien se reposera avec l'illusion que la Mécanique a terminé sa tâche, M. Bouasse dressera et réglera appareils et instruments, afin de comparer les mouvements abstraits annoncés par la formule aux mouvements concrets que l'expérimentateur peut produire et observer. La description de ces appareils et de ces instruments, les instructions relatives à leur mode d'emploi tiennent une place considérable dans le *Cours de Mécanique rationnelle et expérimentale ;* en vain chercherait-on quoi que ce soit d'analogue dans la plupart des traités de Mécanique rationnelle.

La vérification à laquelle doit être soumise une formule de Mécanique avant qu'on la puisse déclarer *utile* doit être une vérification quantitative ; les lettres qui figurent en cette formule représentent diverses grandeurs ; il s'agit de déterminer les valeurs numériques prises par ces grandeurs dans le cas concret qu'on réalise, et de s'assurer que ces valeurs numériques vérifient la formule avec une exactitude suffisante. Dès lors, point de comparaison possible entre les propositions de la Mécanique et les faits, si l'on ne dispose de méthodes propres à mesurer les diverses sortes de grandeurs dont traitent la Statique et la Dynamique, les temps, les longueurs, les angles, les masses, les moments d'inertie, les forces, les couples. A la description de ces méthodes, M. Bouasse consacre de nombreux articles, qu'illustrent des figures d'appareils, où abondent les renseignements touchant les précautions qu'exige le maniement de ces instruments. Voilà, certes, une innovation, et qui surprendra peut-être bon nombre de lecteurs des Traités de Mécanique rationnelle.

Les auteurs de ces Traités, en effet, imitent, la plupart du temps, la manière de procéder de l'algébriste. Lorsque l'algé-

briste traite quelque problème ressortissant à sa science, il représente par des lettres toutes les quantités qui figurent en ce problème, et, suivant les règles fixes de ses algorithmes, il combine ces lettres jusqu'à ce que l'assemblage obtenu satisfasse aux conditions qui ont été imposées. Il sait que la solution trouvée serait dénuée de sens, si l'on ne concevait les lettres qui y figurent comme représentant des nombres; que, pour appliquer cette solution à un cas particulier quelconque, il faudra y substituer aux lettres les nombres qui caractérisent ce cas particulier; mais par quel procédé ces nombres seront-ils obtenus, il n'en a cure; c'est affaire à celui qui voudra user de l'instrument, très général en ses emplois possibles, qu'il a forgé. De la même façon, mais à moins bon droit, agit celui qui s'adonne à la Mécanique purement rationnelle; il développe une analyse où figurent une masse m, un moment d'inertie I, les composantes X, Y, Z d'une force; mais, en tel cas particulier et concret, comment connaîtra-t-on les valeurs numériques qu'il faut substituer aux lettres m, I, X, Y, Z? C'est une question qu'il dédaigne d'examiner; or, faute de la résoudre, il ne fait pas œuvre de mécanicien, mais seulement d'algébriste.

Vérification expérimentale d'un grand nombre de propositions de Statique et de Dynamique, description des appareils qui permettent de mesurer les diverses grandeurs dont traitent ces sciences, ce sont besognes dont l'accomplissement donne au Livre de M. Bouasse l'aspect d'un Traité de Physique et permet à l'auteur de déclarer qu'il a exposé un cours de Mécanique à la fois rationnelle et expérimentale.

VII.

Ce cours est *spécialement écrit pour les physiciens et les ingénieurs*. Les ingénieurs, tout d'abord, trouveront-ils profit à le lire? Pour répondre à une telle question, nous n'avons guère autorité; il nous semble, cependant, que d'utiles enseignements s'offrent, en ce Livre, à celui qui veut appliquer les lois de la Mécanique aux problèmes posés par l'industrie.

Pour être utile au futur ingénieur, il convient, en premier lieu, d'appliquer autant que possible les théorèmes de la Mécanique à

des exemples tirés des mécanismes et des machines qui se rencontrent dans la pratique industrielle; de fuir ces problèmes artificiellement composés dans le seul but de conduire à telle ou telle équation différentielle d'espèce connue, ces problèmes dont abusent nos leçons et nos examens. Que M. Bouasse se conforme, en ce point, aux désirs de l'ingénieur, cela n'est pas douteux; nous connaissons son horreur des problèmes factices, et, d'autre part, pour constater à quel grand nombre de mécanismes, utilisés dans l'industrie, il applique les lois de la Mécanique, il suffit de parcourir la Table des matières de son Livre.

Mais ce n'est ni la tâche la plus difficile ni la plus essentielle en la rédaction d'un Traité de Mécanique rationnelle destiné à de futurs ingénieurs; un exercice artificiellement imaginé peut être utile lorsque la réalité n'offre point d'exemple propre à mettre simplement et clairement en évidence une vérité importante; et, d'autre part, il ne s'agit pas de décrire au lecteur tous les agencements de mouvements qu'il pourra rencontrer dans la pratique; les enseignements techniques et spécialisés, qu'on n'entend point suppléer, auront à faire cette besogne. Ce qu'il faut avant tout, c'est façonner l'esprit de l'élève ingénieur à la tournure qu'il doit avoir pour s'adapter aux exigences de l'industrie.

Les appareils, les machines dont l'ingénieur aura à utiliser les mouvements sont, en général, d'une extrême complication. Très souvent, il n'est pas possible d'en donner une théorie complète et rigoureuse. Là même où une Géométrie très habile, où une Algèbre très savante ont su composer une semblable théorie, il peut se faire que cette explication minutieusement déduite soit plus nuisible qu'utile à l'industriel.

L'excellent ingénieur, en effet, n'est pas celui qui sait, à l'aide de calculs très compliqués, partant très longs et très laborieux, analyser, dans ses moindres détails et avec une extrême précision, la marche de la machine qu'il emploie; c'est celui qui a, de cette marche, une connaissance synthétique et, pour ainsi dire, intuitive; qui sait, par conséquent, se rendre compte d'une manière très rapide des défauts qui peuvent vicier cette marche, des remèdes qui atténueront ces défauts, des perfectionnements qui les feront disparaître. L'ingénieur aura donc véritablement acquis la forme intellectuelle qui lui convient lorsqu'il usera, pour

résoudre les problèmes de Mécanique, très peu de l'esprit géométrique qui déduit et conclut, et beaucoup de l'esprit de finesse qui voit et devine. Or, il est clair que cette promptitude d'intuition n'est possible qu'à la condition de simplifier à un haut degré les questions posées, de négliger une foule d'éléments de ces questions pour s'attacher seulement à quelques-uns d'entre eux. D'autre part, ce choix entre les éléments qu'on gardera comme prépondérants et ceux qu'on dédaignera comme accessoires suppose une juste appréciation du degré d'approximation qu'il est nécessaire d'atteindre en la solution du problème et du degré de rigueur qu'il serait inutile et puéril de rechercher. Distinguer rapidement l'indispensable justesse de la précision futile, et cela afin de voir simple, partant de voir d'ensemble l'appareil qu'il manie, c'est à quoi il faut surtout habituer le futur ingénieur.

La Mécanique purement rationnelle, dont l'enseignement s'est trop souvent propagé des Facultés jusque dans les écoles techniques, lui donne des habitudes tout opposées; ce n'est pas l'esprit de finesse, c'est l'esprit géométrique qu'elle développe exclusivement en lui; elle l'accoutume à rechercher partout une rigueur dont le géomètre et l'algébriste ne se doivent jamais départir, mais qui, dans le domaine de la Science appliquée, est nuisible ou tout au moins inutile et ridicule.

M. Bouasse nous peint (¹), avec la vivacité d'images, mais aussi avec la justesse de coup d'œil dont il est coutumier, l'aspect des Livres composés par les ingénieurs que le goût de la rigueur déplacée a gâtés :

« L'esprit faussé dès l'origine par l'éducation reçue, ayant vu leurs professeurs admirés pour embrouiller les questions les plus simples et cacher l'évidence sous un fatras de théorèmes, ils s'imaginent que c'est là le but suprême. Pour imiter leurs modèles, ils font ce qu'ils peuvent. Restés excellents élèves de Spéciales, ils enfilent donc une série de propositions conduisant à des courbes « genre taupin », qu'ils discutent à l'aide de tableaux bien ordonnés; ils accumulent les expériences « genre examen de » l'École Polytechnique ». Bref, ils grossissent jusqu'à cinq cents pages des Ouvrages qui, excellents, tiendraient en cinquante. »

(¹) H. Bouasse, *Op. laud.*, p. 2.

Pour former, donc, des ingénieurs, il leur faut donner un enseignement qui les détourne de la fausse rigueur; mais il est une tentation dont il faut bien se garer et les garer; c'est celle de dédaigner la précision légitime et l'exactitude indispensable. Il faut simplifier les problèmes, mais jusqu'à un certain point seulement; il faut négliger les détails accessoires, mais sans rien sacrifier des principes importants. Il y a, en un tel enseignement, une juste limite à garder, et les mathématiciens qui ont voulu délaisser leur trop minutieuse rigueur pour donner des leçons qui pussent servir à l'industriel ont, bien souvent, poussé la simplification trop loin; à fuir le trop précis, le trop exact, ils se sont précipités dans le vague et dans le faux.

« Depuis quelques années, dit M. Bouasse (1) il est de bon ton parmi nous d'aimer l'industrie comme on aimait la vie champêtre du temps de Rousseau; et l'on voit des théoriciens du genre le plus abstrait endosser (au figuré) le bourgeron du contremaître et s'efforcer de mettre leur science à la portée du nombre.... Une de leurs marottes consiste à démontrer les propositions les plus difficiles d'une manière élémentaire, c'est-à-dire en se privant de toutes les ressources des Mathématiques. Ils rappellent ces nourrices qui bêtifient pour se faire comprendre. Ils parlent petit nègre, oubliant qu'il est plus facile d'apprendre les Mathématiques que d'apprendre à s'en passer. »

Cette juste limite entre l'excès et le défaut de rigueur mathématique est fort difficile à définir; il faut un sens très juste et très bien équilibré pour la marquer exactement; s'y tenir est, certainement, la principale difficulté de l'art de former les ingénieurs. La sûreté avec laquelle M. Bouasse sait simplifier chacun des problèmes pratiques qu'il traite jusqu'au degré voulu, et jusqu'à ce degré-là seulement, est peut-être la qualité la plus rare dont il fasse preuve en son Ouvrage.

Cette qualité, le soin avec lequel il garde toujours, en chacun de ses raisonnements mathématiques, le contact très intime avec l'expérience, n'a pas peu contribué à la développer et à l'assurer en lui. Nul, mieux que l'expérience, ne sait montrer le ridicule d'une illusoire précision; nul, plus durement qu'elle, ne sait op-

(1) H. Bouasse, *Op. laud.*, p. 2-3.

poser un démenti aux solutions vagues et erronées. En travaillant toujours d'après nature, en comparant sans cesse son œuvre au modèle, le peintre apprend à ne pas pignocher des pointillés qui n'ajoutent rien à la ressemblance; mais il apprend aussi à ne pas se contenter d'une pochade sans dessin, incapable de rendre le caractère de ce qu'il prétend imiter.

VIII.

Voilà comment, en composant un cours de Mécanique à la fois rationnelle et expérimentale, M. Bouasse a pu justement affirmer qu'il l'avait *spécialement écrit pour les ingénieurs;* mais aux ingénieurs, il adjoint *les physiciens;* en quoi cet Ouvrage peut être utile à ces derniers, nous l'allons examiner.

Et d'abord, apte à enseigner la Mécanique sous la forme que réclame l'ingénieur, le cours de M. Bouasse est, par le fait même, propre à former des physiciens expérimentateurs; les qualités d'esprit qu'il faut posséder pour manier habilement tel instrument de Physique ne diffèrent guère de celles qu'on met en jeu lorsqu'on emploie telle machine; d'année en année, d'ailleurs, on voit croître le nombre des machines proprement industrielles qui se rencontrent habituellement dans les laboratoires de Physique, comme le nombre des instruments de Physique qui servent dans les usines; aujourd'hui, peut-on dire, le laboratoire est une petite usine, et l'usine, bien souvent, est un vaste laboratoire. Après donc ce que nous avons dit des services que la *Mécanique* de M. Bouasse peut rendre aux futurs ingénieurs, il est superflu d'insister sur les services directs qu'elle peut rendre à ceux qui souhaitent de se livrer à la Physique expérimentale.

Mais la Mécanique, avons-nous dit, n'a pas seulement pour le physicien une utilité directe; elle a encore une utilité indirecte, et qui n'est pas la moindre; elle lui enseigne l'art de construire des théories physiques.

C'est surtout en étudiant les mouvements des milieux continus, qu'ils soient fluides ou élastiques, que la Mécanique a l'occasion de dresser devant les yeux du physicien d'admirables modèles de théories. Or, cette étude des milieux continus, M. Bouasse ne l'aborde pas au cours des Leçons que nous analysons; il la réserve,

sous le nom de Mécanique physique, pour le premier des Volumes du Traité de Physique qu'il a publié. Les systèmes susceptibles d'être définis à l'aide d'un nombre limité de grandeurs variables, les assemblages de corps solides, par exemple, sont les seuls dont il traite en sa Mécanique rationnelle; en les étudiant, cependant, il va trouver une foule de problèmes qui prépareront l'intelligence de l'élève aux théories diverses de la Physique.

Dès le second Chapitre de l'Ouvrage, l'étude du *Travail des vecteurs* et du *Flux des vecteurs* introduit ces théorèmes et ces formules qu'on retrouve, dès le début, en chaque théorie physique et qui sont, pour le physicien, l'indispensable instrument du labeur quotidien. La Statique fournit à l'auteur l'occasion de présenter les lois mathématiques de l'attraction en raison inverse du carré de la distance, l'une des doctrines les plus belles que la Science ait produites, et l'une des plus utiles aussi, puisqu'elle est la forme où se viennent mouler les théories de l'Électricité et du Magnétisme. Les Chapitres si complets où sont analysés les mouvements oscillatoires, l'amortissement et l'entretien des vibrations, les phénomènes de résonance, sont une très heureuse introduction à ce que le physicien devra dire des petits mouvements des fluides et des corps élastiques, à ce qui formera l'Acoustique et l'Optique.

Non seulement les théories les plus importantes de la Physique trouvent ainsi, au *Cours de Mécanique rationnelle et expérimentale*, une sorte d'esquisse qui en annonce et prépare l'exécution, mais encore ce cours présente au physicien, à propos d'un problème purement mécanique, un exemple très instructif de l'art de construire une théorie. Le problème dont nous voulons parler est celui qui concerne la figure de la Terre. L'analyse qui en est faite nous montre comment, en l'examen d'une question de Mécanique ou de Physique, on est amené à imaginer des hypothèses propres à la résoudre; comment on développe les conséquences logiques de ces hypothèses jusqu'à ce qu'on ait découvert des corollaires susceptibles d'être comparés avec les faits; comment on combine des méthodes expérimentales propres à effectuer cette comparaison; comment enfin les résultats de cette épreuve permettent de juger la théorie. L'élève qui aura étudié dans le Livre de M. Bouasse le problème de la figure de la

Terre pourra s'en aller suivre les leçons d'un physicien; il y entendra parler de propriétés physiques qui n'avaient pas été nommées au cours de Mécanique; mais il verra clairement que les méthodes propres à traiter de ces propriétés nouvelles ne diffèrent pas de celles qui servent à analyser les mouvements purement locaux; il comprendra qu'entre la Mécanique et la Physique, la Logique met une continuité parfaite.

Le sentiment de cette continuité, il n'a guère, aujourd'hui, chance d'en prendre conscience, l'étudiant de nos Facultés qui sort d'un cours de Mécanique purement rationnelle pour suivre un cours de Physique purement expérimentale; entre les deux doctrines qui lui sont exposées, il risque fort de n'apercevoir que disparates et contrastes.

J'avais été chargé, il y a déjà bien longtemps, de préparer à l'agrégation des Sciences physiques les étudiants d'une de nos Facultés; j'avais eu le bonheur de trouver des élèves d'élite; j'aime, en me rappelant leurs noms, à constater que beaucoup d'entre eux sont aujourd'hui assis en des chaires plus élevées que celle d'où je les enseignais alors, à songer que tel a été choisi par la Sorbonne pour inaugurer un enseignement dont l'extrême nouveauté n'est pas la seule difficulté. Or, à ces élèves, je demandais, chaque année, une leçon sur la mesure de l'intensité de la pesanteur, leçon qui ne manquait guère d'être mise au nombre des épreuves du concours; et chaque année, je constatais qu'une science très complète des méthodes propres à mesurer g était accompagnée, en l'esprit des étudiants, d'une ignorance non moins complète de l'usage auquel ces mesures sont destinées; mes candidats à l'agrégation, tous licenciés ès sciences mathématiques, n'avaient point entendu, au cours de Mécanique rationnelle, la moindre leçon sur la Géodésie; à peine leur avait-on enseigné ce que c'est que le poids d'un corps. Que n'avaient-ils pris leur licence en une Faculté où l'enseignement de la Mécanique rationnelle eût suivi le plan que trace M. Bouasse!

IX.

Car M. Bouasse a entendu nous donner le modèle de ce que devrait être, selon lui, l'enseignement de la Mécanique ration-

nelle dans les Facultés des Sciences; et c'est pourquoi le titre de son Livre se termine par ces mots : *Conforme au programme du certificat de Mécanique rationnelle*. Cette dernière indication est-elle juste? Serait-il possible d'adapter les épreuves du certificat de Mécanique rationnelle à un enseignement donné sur le plan du cours que nous venons d'analyser? On le pourrait assurément, sans modifier aucun des règlements en vigueur, mais en changeant profondément l'esprit qui a dirigé jusqu'ici cet examen. C'est ce qu'il nous faut montrer en peu de mots.

Les épreuves à la suite desquelles est conféré le certificat de Mécanique rationnelle sont de trois sortes : une composition écrite, un exercice pratique, des interrogations.

De quelle nature est le sujet de la composition écrite requise en cet examen? Il comprend un ou plusieurs problèmes qui, presque toujours, sont construits sur un même type général : On demande d'étudier le mouvement d'un système tout artificiel soumis à l'action de forces dont, la plupart du temps, la nature n'offre pas d'exemples. La partie proprement mécanique du problème, l'étude du système et des forces, d'où résulte la mise en équations, n'offre, en général, aucune difficulté sérieuse; mais de cette étude découlent presque immédiatement une ou plusieurs équations différentielles. et tout le talent du candidat se marque en l'habilité avec laquelle il intègre ou discute ces équations. Cette épreuve ne mérite donc pas, en réalité, le titre de composition de Mécanique, mais bien celui d'exercice de Calcul intégral.

L'exercice pratique est encore plus mal nommé; il consiste, bien souvent, en l'évaluation de quelque intégrale définie, poussée parfois jusqu'au calcul numérique : telle la détermination du moment d'inertie d'un corps de figure et de densité données; le papier, la plume et l'encre sont, en tous cas, les seuls instruments qu'on y emploie; tout au plus y joint-on une Table de logarithmes.

Il est clair qu'un examen de ce type ne saurait servir de sanction à un cours de Mécanique rationnelle et expérimentale semblable à celui dont M. Bouasse nous présente le modèle.

Si la Mécanique a été enseignée comme M. Bouasse veut qu'on l'enseigne, la composition écrite du certificat de Mécanique

rationnelle ne doit plus être un problème de Calcul intégral. C'est au cours de Calcul différentiel et intégral, non au cours de Mécanique, que l'étudiant doit apprendre à intégrer et à discuter les équations différentielles; c'est le certificat de Calcul différentiel et intégral, non le certificat de Mécanique, qui doit contrôler ses connaissances à ce sujet.

Si donc l'épreuve écrite comporte une question à résoudre, cette question devra être de Mécanique, non de Mathématiques; ce qu'elle contient de difficile ne devra pas se rencontrer en un problème de Calcul intégral, mais ressortir vraiment à la Mécanique; ce n'est pas par la discussion d'une intégrale elliptique ou d'une équation de Riccati qu'on toisera le candidat; on recherchera quelle est son habileté à découvrir les principes de Statique ou de Dynamique qui doivent mettre le problème en équations, à simplifier ces équations en tenant compte des propriétés physiques du système étudié et du degré de précision requis dans le cas considéré; on lui demandera de conduire la solution jusqu'aux corollaires que l'expérience peut contrôler, d'indiquer par quels procédés et avec quelle exactitude ce contrôle se peut faire.

Profondément changé, donc, sera l'esprit même qui dicte le sujet de la composition écrite; plus profondément modifiée sera la nature de l'exercice pratique.

Celui-ci, en effet, devra vraiment mériter son nom; il devra se faire non dans une chambre avec une plume et du papier, mais dans un laboratoire avec des appareils et des instruments; il devra consister à vérifier par l'expérience un des théorèmes qui ont été démontrés dans le cours ou à mesurer effectivement une des grandeurs dont traite la Mécanique; il sera une manipulation toute semblable de forme à celle qui est requise pour l'obtention du certificat de Physique générale.

X.

Or, pour qu'au jour de l'examen le candidat puisse effectuer cette manipulation, il faudra qu'au cours de l'année scolaire il ait accompli, chaque semaine, une manipulation de Mécanique; voilà donc, et de toute nécessité, l'enseignement théorique de

Mécanique rationnelle et expérimentale, qui se donne en des cours et conférences, doublé d'un enseignement pratique qui se doit donner au laboratoire. La création du laboratoire de Mécanique, des manipulations de Mécanique est la réforme la plus profonde qu'exige la réalisation du plan tracé par M. Bouasse; de toutes celles que réclame cette réalisation, elle est la plus essentielle, car, à vrai dire, elle les résume toutes; elle est la condition nécessaire et suffisante pour que la Mécanique cesse d'être reléguée parmi les Sciences mathématiques et qu'elle reprenne son rang de Science physique.

A l'installation du laboratoire de Mécanique, à l'organisation des manipulations de Mécanique, M. Bouasse attache, comme de juste, une extrême importance. Non seulement, d'un bout à l'autre de son Livre, il décrit les instruments et les méthodes par lesquels on peut vérifier expérimentalement bon nombre des théorèmes qu'il démontre, mais il consacre tout un chapitre, le dernier, aux *manipulations*. Il définit d'abord *l'esprit dans lequel doivent être faites les manipulations*; de cette définition, extrayons les lignes suivantes (1), que l'on ne saurait trop méditer :

« Il ne s'agit pas le moins du monde de créer une installation industrielle, et de confondre deux choses aussi dissemblables qu'*expérimental* et *technique*. La technique n'est pas du ressort des Facultés; les professeurs de Faculté ne réussissent guère quand ils s'y essayent; ils se font moquer d'eux par les ingénieurs, et c'est justice.

» Nous ne devons chercher qu'à traduire en expériences les théorèmes de la Mécanique *rationnelle* et à en faire comprendre les énoncés.

» Une manipulation doit impliquer des mesures et des vérifications. Regarder un phénomène n'est pas une manipulation; il faut en varier les circonstances et que les résultats se traduisent par des graphiques et des lois....

» Pour créer un laboratoire d'enseignement de Mécanique, il faut de l'argent, mais peut-être moins qu'on ne l'imagine. Les appareils les plus coûteux sont généralement les plus inutiles.

(1) H. Bouasse, *Op. laud.*, p. 646.

Laissons de côté cette prétention à la précision qui ne trompe personne. Rappelons que les résultats *au millième* se comptent en Physique. N'imitons pas ces physiciens qui font étalonner leurs thermomètres, leurs règles... au Bureau central des Poids et Mesures, quand ils pourraient se contenter d'un thermomètre de cinq francs et d'une règle en bois de quarante sous, sans nuire en rien à la précision de leurs expériences. Rappelons que l'industrie nous livre à bon compte des produits remarquables, fabriqués par séries avec des outillages perfectionnés pour lesquels elle ne lésine pas.

» N'ayons pas la superstition des forces énormes. Certains croient que les phénomènes ne sont nets qu'avec des machines de 30 chevaux ou des vitesses de 500 tours à la seconde. Ils prennent des marteaux-pilons pour écraser des mouches.... »

XI.

M. Bouasse, nous n'en pouvons plus douter, nous convie à accomplir, dans l'enseignement de la Mécanique que donnent les Facultés, une révolution très profonde qui serait, en même temps, une réforme très bienfaisante. Cette réforme est-elle réalisable? Là encore, le doute n'est plus permis, puisque M. Bouasse nous a donné un modèle complet du cours à faire et des manipulations à installer. Cette réforme se fera-t-elle? Hélas!

Le mal qu'il s'agit de guérir est difficilement guérissable. Il consiste essentiellement, nous l'avons vu, en une radicale opposition entre le sens dans lequel se sont développées la Mécanique et la Physique, et le sens dans lequel a été dirigé l'enseignement de ces deux Sciences; pendant que la Mécanique et la Physique se compénétraient d'une manière de plus en plus intime, le cours de Mécanique purement rationnelle et le cours de Physique purement expérimentale s'éloignaient l'un de l'autre jusqu'à se perdre complètement de vue.

Or, ce n'est pas là un mal circonscrit, un vice qui soit particulier à la Physique et à la Chimie; la maladie est générale; partout, on en reconnaît les symptômes; partout, on peut constater le même disparate entre la forme à laquelle tend la Science et la forme que s'efforce d'acquérir l'intelligence des savants.

Lorsque la marée descend, au long d'une côte bordée de récifs, on voit d'abord émerger les têtes de quelques roches; ces roches semblent ensuite s'élargir, s'étaler d'une manière graduelle; les chenaux qui les séparent les unes des autres deviennent de plus en plus étroits, de moins en moins profonds; ils se réduisent bientôt à de minces filets d'eau et finissent par disparaître, tandis que les récifs découverts semblent se souder les uns aux autres; une large étendue de terre ferme se montre là où l'on n'apercevait tout d'abord que des écueils isolés.

Une vue toute semblable se déroule sous les yeux de celui qui contemple les progrès de la Science, particulièrement au cours du dernier siècle. Là où les savants qui nous ont précédés de deux ou trois générations n'apercevaient que des sciences disjointes et sans communication les unes avec les autres, nous voyons, nous, les parties d'une même science, si parfaitement unies les unes aux autres que nous ne savons plus, entre elles, tracer aucune ligne de démarcation.

Autrefois distinctes, la Mécanique et la Physique se sont fondues l'une en l'autre; par la découverte de la Mécanique chimique, elles sont venues se souder à la Chimie; par les synthèses, la Chimie organique et la Chimie minérale se sont réunies en une science unique. Géométrique par l'étude des symétries; physique par tout ce qu'elle emprunte aux théories de l'Électricité, du Magnétisme, et surtout à l'Optique; chimique lorsqu'elle veut deviner et reproduire les conditions où se sont formés les minéraux et les roches, la Minéralogie est au fondement même de la Géologie. Grâce à la Paléontologie, qui pourrait dire où finit la Géologie, où commencent la Botanique et la Zoologie? Entre ces deux dernières sciences, qui oserait mettre une séparation depuis que Claude Bernard nous a appris à voir les phénomènes de la vie qui sont communs aux animaux et aux végétaux? Et si la Physiologie se trouve être ainsi unique pour les deux règnes, n'y a-t-il pas, d'ailleurs, par l'intermédiaire de la Chimie biologique, continuité entre la Physiologie et la Chimie organique? Nos ancêtres pouvaient penser que la Science était un archipel dont les îles seraient à jamais séparées par d'infranchissables bras de mer; nous n'y voyons plus qu'un continent d'une parfaite connexité.

Pendant que la Science marchait ainsi de la diversité vers l'unité, l'intelligence des savants subissait une évolution de sens tout opposé ; cette évolution tendait à former des individus de plus en plus spécialisés et de plus en plus disparates.

Assurément, on rencontre encore quelques hommes qui, de la Science, ont parcouru de vastes contrées et qui en ont acquis une connaissance où l'analyse du détail s'harmonise avec la synthèse de l'ensemble. Que l'auteur du *Cours de Mécanique rationnelle et expérimentale* soit un de ces hommes-là, il nous l'a prouvé en rédigeant les six volumes de ce *Cours de Physique* (¹) qui rejoint la Mécanique rationnelle par la Mécanique physique, la Mécanique chimique par la Thermodynamique, la Minéralogie par l'Étude des symétries. Mais combien trouverait-on aujourd'hui de gens qui fussent capables d'écrire un Traité aussi étendu ? Combien même en trouve-t-on qui soient en état de le lire ?

Craignant les lointains voyages et dédaigneux des connaissances géographiques étendues, chacun demeure en son champ dont il étudie la moindre motte de terre avec la vue minutieuse et grossissante d'un myope; aussi finit-il par prendre son lopin pour le monde. Le physicien n'est que physicien, le chimiste ne connaît que la Chimie, et de même en va-t-il du zoologiste, du botaniste et du géologue.

Que dis-je ! Le morcellement du sol scientifique est poussé beaucoup plus loin, car chacun s'attache à ne cultiver qu'une infime parcelle, afin de pouvoir, sans grand effort, pousser cette culture jusqu'à la perfection la plus méticuleuse. Il arrive alors qu'on rencontre un physicien qui connaît à fond les aimants et un autre qui n'a pas de pair en l'étude des diélectriques; mais on les embarrasserait également si l'on demandait au premier une leçon sur les diélectriques et au second un cours sur les aimants; tel chimiste est rompu à tous les artifices de la synthèse des sucres, pour qui la synthèse des matières colorantes est un mystère; ce zoologiste n'a point d'égal en l'art de classer les crustacés, mais il confond une fourmi avec un termite; la compétence de ce botaniste

---

(¹) H. Bouasse, *Cours de Physique*, 1re Partie : *Mécanique physique;* 2e Partie : *Thermodynamique*, *Théorie des ions;* 3e Partie : *Électricité et Magnétisme;* 4e Partie : *Optique, instruments;* 5e Partie : *Électroptique;* 6e Partie : *Étude des symétries.*

en la diagnose des mousses est reconnue dans le monde entier; mais qu'il n'aille pas recueillir des champignons, il risquerait fort de s'empoisonner.

La tour de la Science se dresse déjà très haut dans le ciel, et ses lignes laissent deviner une harmonieuse unité; mais, au pied de l'édifice, les ouvriers s'épuisent en une agitation stérile et désordonnée, parce que leurs langues sont confondues; incapables de s'entendre et de concerter leurs efforts, les divers corps de métiers gaspillent l'habileté de leurs compagnons les plus experts en des travaux dont beaucoup demeureront sans emploi; les charpentiers continuent d'équarrir des poutres, les maçons de tailler des pierres et de gâcher du ciment, les menuisiers et les serruriers d'ajuster des pièces de bois ou de fer; mais les charpentiers ne savent ce que porteront leurs fermes et leurs consoles; les maçons ignorent comment leurs matériaux se doivent appareiller avec la charpente; les menuisiers ne se soucient pas des baies auxquelles leurs croisées se doivent ajuster, ni les serruriers des portes et des fenêtres que leurs ferrures doivent garnir; les ouvriers de chaque spécialité travaillent isolément, fiers de la dextérité avec laquelle ils manient leurs outils particuliers, ignorants et dédaigneux de ce que font les ouvriers de la spécialité voisine; et tous, charpentiers, maçons, menuisiers, serruriers, s'imaginent à l'envi qu'ils suffisent, à eux seuls, à l'achèvement de l'édifice; il n'y a plus d'architectes.

Verrons-nous le jour où ces milliers de mains qui exécutent trouveront, pour les guider, quelques intelligences qui comprennent?

Pierre Duhem.

